

БУДІВНИЦТВО

УДК 666.983: 621.039.537

ПІДВИЩЕННЯ ЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНІВ ВІД ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Канд. техн. наук Сердюк В. Р., інж. Несен Л. М.

Світовий досвід радіаційного захисту надає перевагу бетону. У вітчизняній і закордонній практиці при будівництві ядерних установок, сховищ радіоактивної сировини, відходів найчастіше всього використовують звичайні бетони, свинець і бетони, які містять у собі важкі наповнювачі (лімоніт, магнетит, металевий скрап, барит). В таких бетонах поєднуються властивості важких речовин, що активно взаємодіють з гама-випромінюванням та легких, які здатні сповільнювати потік нейтронів. Закономірно, що в найближчому майбутньому цементний бетон буде залишатися основним конструкційним матеріалом для екранізації іонізуючого випромінювання.

Ефективність використання бетонів пов'язана з відносно високою радіаційною стійкістю їх складових. При опромінюванні нейтронним потоком у кристалах мінералів, гідросилікатів, заповнювачів відбуваються зміщення атомів із рівноважного положення у вузлах кристалічної решітки і короткочасний розігрів у зонах теплових піків. Внаслідок цього, в кристалічній структурі мінералів утворюються точкові дефекти, а в подальшому — групи та області дефектів, потім частковий чи повний перехід одних мінералів в інші (α -кварц у β -кварц, магнетит у гематит, серпентиніт в олівін) і повна аморфізація кристалічної структури.

За даними [1] такі зміни зовні проявляються в анізотропній зміні параметрів кристалічної решітки і розмірів кристалів до 6—7 % (лінійні радіаційні деформації); збільшення об'єму до 18 % (об'ємні радіаційні деформації); зменшення щільності до 15 %. Коли напруження в матеріалі перевищують границю його міцності, настає руйнування, і виникає тріщина.

Тріщини, утворені в опроміненому бетоні, є тими мікроскопічними дефектами його структури, що обумовлюють головну причину зміни всіх його властивостей, у тому числі й міцності.

Після опромінення флюсом нейтронів 5×10^{20} ущільнення клінкерних мінералів складає 0,4—0,8 %, міцність C_3S і C_2S знижується на 50—60 %, а міцність C_3A і C_4AF не змінюється. Втрати води в цементному камені після опромінювання зростають у 3 рази.

Серед гідратованих клінкерних мінералів найбільше водоутримання відмічається в алюмоферитних сполуках, які зв'язують велику кількість молекул води. До них відносяться такі новоутворення, як гідроалюмінати кальцію C_4AH_{13} і C_3AH_6 та гідрогранати $C_3(AF)H_6$, а в структурі гідросилікатів кальцію кількість хімічно зв'язаної води в 2,4—4,7 рази менше.

Наведені в роботі [2] результати десорбції вологи з портландцементного каменю при опроміненні підтверджують, що гідратовані клінкерні мінерали C_3S і C_2S після опромінювання в реакторі втрачають значно більше хімічно зв'язаної води, ніж C_3A і C_4AF .

Таблиця 1
Десорбція вологи гідратованих клінкерних мінералів при опромінюванні

Мінерал	Водоутримання контрольних зразків, г/г цем. каменю	Після опромінення, г/г цем. каменю	
		водоутримання	водовтрати
C_3S	0,085	0,053	0,032
C_2S	0,062	0,033	0,029
C_3A	0,294	0,197	0,097
C_4AF	0,200	0,163	0,037

Примітка. Флюс нейтронів $4,5 \times 10^{20}$ нейтр./см².

Особливо великі водовтрати має беліт (C_2S), приблизно, 50 %, в меншій мірі це спостерігається в алюмоферитних мінералах, зокрема, чотирикальцевий алюмоферит втрачає всього 18,5 % вологи (табл. 1).

У системі $CaO - Fe_2O_3 - H_2O$ при гідротермальній обробці зразків із суміші, що містить 20 % CaO і 80 % Fe_2O_3 (тиск насиченої пари становить 0,9 МПа, режим — 4 + 8 + 4 годин), виявлені C_3FH_6 і C_4FH_{14} [3]. При додаванні до вказаної суміші SiO_2 при складі початкової суміші $CaO - 20\%$; $Fe_2O_3 - 30\%$; $SiO_2 - 50\%$ істотно змінюється склад гідратних новоутворень, які в цьому випадку являють собою гідрогранати ряду андрадита — C_3FS_3 ; CSH (1).

Останнім часом за кордоном з'явилися матеріали нового типу, які мають у 3+3,3 рази більший захисний ефект, ніж звичайний бетон, при цьому, щільність цих матеріалів більша у порівнянні з щільністю звичайного бетону всього в 1,3—1,7 рази, тобто ці матеріали мають більший захисний ефект, ніж очікуваний при такій щільності. Їх склад містить порошок свинцю й сталі. Як сполучне використовується сірка.

Наявність у продуктів гідратації цементів залізистих гідрогранатів одночасно з покращенням властивостей виробів повинно мати негативний вплив, який обумовлений високою основністю гідрогранатів (основність гідросилікатів приблизно дорівнює 1, а гідрогранатів — значно вища і дорівнює 3 чи 4). Із цього можна зробити висновок, що при одній і тій же кількості новоутворень для кристалізації гідросилікатів необхідно значно менше CaO , ніж для гідрогранатів, а тому, при збільшенні частки гідрогранатів у складі гідратних новоутворень, значно менше кремнезему буде зв'язуватися в гідросилікати кальцію. Це, у свою чергу, буде мати вплив на міцність силікатних матеріалів, якщо в складі сировинних сумішей міститься недостатня кількість реакційноздатного оксиду кальцію.

З урахуванням аналізу взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною, очевидно, що довговічність і захисні властивості цементних бетонів можуть бути покращені за рахунок раціонального підбраного складу суміші і синтезу, який проходить у процесі тепловологої, гідротермальної обробки або звичайного твердіння більш стійких до опромінювання алюмо- й залізовміщуючих новоутворень.

Якщо додати до складу бетонів невелику кількість оксидів заліза, то, за літературними джерелами, можна досягнути більш інтенсивного утворення низькоосновних гідросилікатів кальцію, які надають бетону високих фізико-механічних властивостей.

БЕТЕЛ-М (бетон електропровідний металонасичений) може використовуватися як оптимальний композиційний матеріал для екранування іонізуючого випромінювання [4]. Він містить у собі тяжкий елемент — залізо і легкий — водень, який знаходиться у складі хімічно зв'язаної води. Крім того, такий композиційний матеріал, що має великі поверхні розділу фаз (деяка аналогія багатошарових матеріалів) і електропровідну матрицю, не тільки екранує, але й поглинає та розсіює енергію електромагнітних випромінювань [5].

У загальному випадку структура БЕТЕЛ-М може бути представлена у вигляді упаковки різних складових компонентів зі змінним коефіцієнтом ослаблення, а проміжки між частинками цих компонентів заповнені однорідним середовищем — з іншим коефіцієнтом ослаблення.

Якщо додати до складу бетонів до 3 % оксидів заліза, що містяться у застосовуваному нами металевому шламі, то він забезпечить інтенсифікацію створення низькоосновних гідросилікатів кальцію. Останні надають бетонові високі фізико-механічні властивості. Одержані результати добре узгоджуються з даними інших дослідників [3].

За допомогою диференційно-термічного й рентгеноструктурного аналізів встановлено, що в складі металонасиченого бетону (вміст металу більше ніж 35 %), крім гідросилікатів кальцію, є підвищений вміст гідрогранатів та алюмоферитів кальцію, які на відміну від гідросилікатів мають високу радіаційну стійкість. Наявність заліза у складі таких новоутворень забезпечує підвищення захисних властивостей від іонізуючого випромінювання.

Таким чином, підвищення захисних властивостей цементних бетонів можна досягти не тільки за рахунок наявності в їх складі добавок металу і підвищення щільності бетону, але й за рахунок зміни фазового складу новоутворень. БЕТЕЛ-М за своїм складом є оптимальним композиційним матеріалом для захисту від іонізуючих випромінювань, оскільки частина металу, що додається до його складу — реакційноздатна. У результаті цього змінюється склад новоутворень продуктів гідратації мінерального сполучного. Створені при цьому гідрогранати, типу андрадиту, є більш стійкими перед дією іонізуючих випромінювань, ніж гідросилікати.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дубровський В. Б. Строительство атомных электростанций. — М.: Энергоиздат, 1987. — 248 с.
2. Сугак Е. Б., Дениов А. В., Музольевский Л. П. Десорбция влаги из портландцементного камня при облучении // Бетон и железобетон. — 1992. — № 6. — С. 2—4.